

## 采用电动针阀和手动可变泄漏阀实现 超高真空度精密控制的解决方案

### Solution to Realize Precise Control of Ultra-High Vacuum By Using Electric Needle Valve and Manual Variable Leakage Valve

摘要：超高真空度的控制普遍采用具有极小开度的可变泄漏阀对进气流量进行微小调节。目前常用的手动可变泄漏阀无法进行超高真空度的自动控制且不准确，电控可变泄漏阀尽管可以实现自动控制但价格昂贵。为了实现自动控制且降低成本，本文提出了手动可变泄漏阀与低漏率电控针阀组合的解决方案，结合真空压力PID控制器可实现超高真空度自动控制。

## 1. 问题的提出

超高真空一般是指 $10^{-7}\text{Pa}\sim 10^{-2}\text{Pa}$ 范围的真空度，相应的超高真空技术应用也十分广泛，特别是对于芯片级原子钟（CSACs）、电容膜片规（CDGs）、显微镜、质谱仪和和新型金属有机化学气相沉积（MOCVD）等需要超高真空环境的设备，其真空度控制的稳定性通常非常重要。

超高真空度控制的基本原理如图1所示，可采用开环和闭环两种控制形式，基本控制原理是固定真空泵的抽速，通过调节进气流量来实现不同真空度的控制。对于超高真空控制，要求进气量非常微小，所以一般采用可变泄漏阀（variable leakage valve）进行调节进气量。如图1所示，目前常用的可变泄漏阀有手动和自动两种形式，但在实际应用中存在以下两方面的问题：

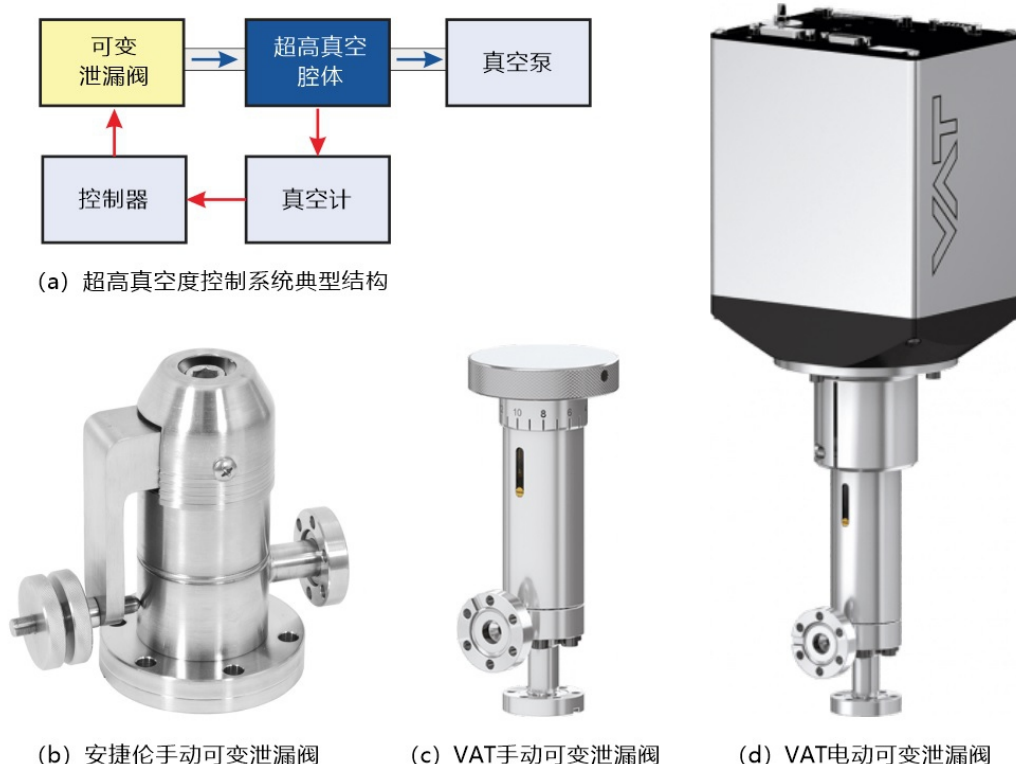


图1 超高真空度控制的基本原理和各种可变泄漏阀

(1) 手动可变泄漏阀只能组成开环控制回路，需要人工调节泄漏阀开度并同时观察真空计读数进行超高真空度控制。这种开环控制方法很难实现真空度的稳定，气源和真空腔体内稍有扰动就会带来严重的波动，另外就是在多个真空度点控制时很难操作和控制。

(2) 自动可变泄漏阀是在手动泄漏阀上配置了一个电子致动器和PID控制器，与真空计可构成闭环控制回路，可实现超高真空度的精密控制，但存在的问题是价格昂贵，自动可变泄漏阀要比手动泄漏阀贵三倍左右。

针对目前可变泄漏阀具体使用中存在的上述问题，本文提出了如下解决方案。

## 2. 解决方案

解决方案的基本思路是采用价格相对较低的手动可变泄漏阀以提供微小的很定进气流量，然后再配备低漏率的电控针阀对此微小进气流量进行电动调节，以实现最终超高真空度的自动控制，由此构成的超高真空度控制系统结构如图2所示。

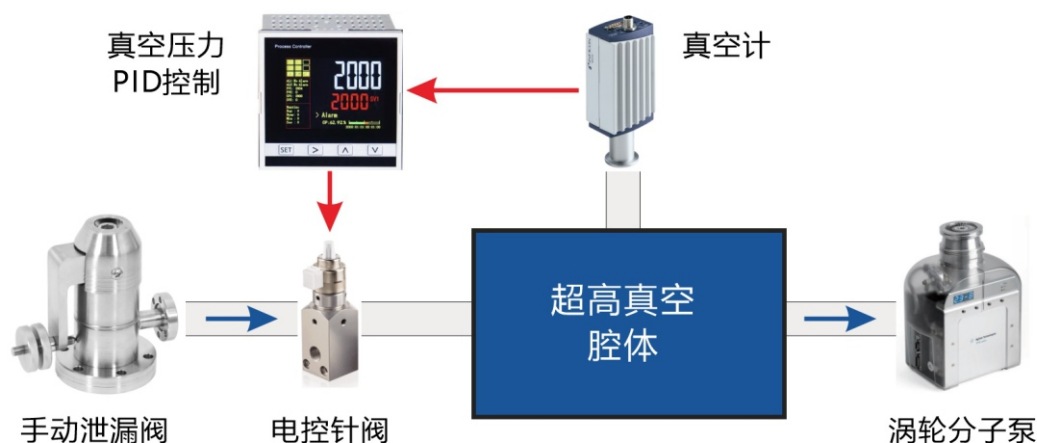


图2 手动泄漏阀和电动针阀组合式超高真空度控制系统结构示意图

由图2所示的控制系统可以看出，整个系统由手动泄漏阀、电控针阀、真空计和PID真空压力控制器构成，并形成闭环控制系统。在具体控制过程中，首先将手动泄漏阀调节到某一固定位置使其保持恒定的微小进气流量，真空压力控制器根据采集到的真空计信号与设定值比较后对电控针阀进行动态调节。由于电控针阀自身有很小的真空漏率，所以电控针阀的开度变化相当于是对手动泄漏阀进气流量的进一步调节，由此电控针阀与手动泄漏阀配合可实现对进入腔体的流量进行调节而最终实现超高真空度的控制。

在图2所示的控制系统中，真空计采用了组合式皮拉尼真空计，真空度测试范围可以从一个大气压到 $5 \times 10^{-8}$  Pa，全量程真空度对应的模拟信号输出为0~10V。此真空计信号可以直接被真空压力PID控制器接收，PID控制器具有24位AD、16位DA和0.01%最小输出百分比技术指标，并带有程序控制和RS485通讯功能，可很好的进行超高真空度的全量程自动控制。

此解决方案除了可以满足小型真空腔室的超高真空度控制之外，也可以用于较大腔室的控制，所需的只是改变手动可变泄漏阀开度大小。